



# (12) 发明专利申请公开说明书

(11) CN 86 1 05331 A

CN 86 1 05331

(43) 公开日 1987年5月13日

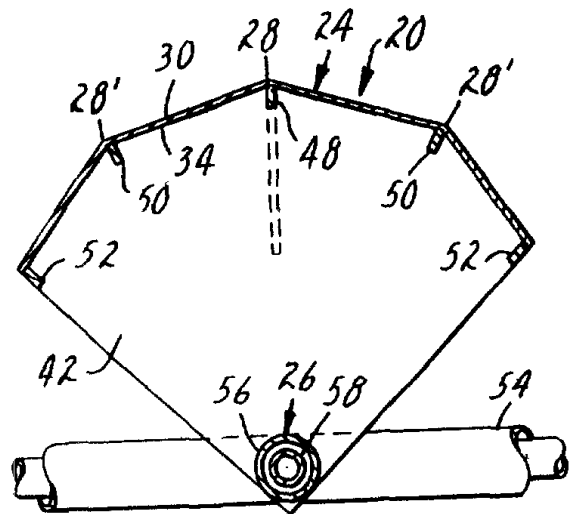
(21) 申请号 86 1 05331  
 (22) 申请日 86.9.3  
 (30) 优先权  
     (32) 85.9.9 (33) 美国 (31) 774.048  
 (71) 申请人 明尼苏达州采矿制造公司  
     地址 美国明尼苏达州  
 (72) 发明人 罗格·H·阿贝尔多恩

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
 代理部  
 代理人 刘 征 陈申贤

(54) 发明名称 折射太阳能的聚光器和薄而柔韧的非涅尔透镜

(57) 摘要

有薄而柔韧的非涅尔透镜的太阳能聚集器，以折射方式将与透镜非正交的人射太阳辐射聚焦到工作面上。非涅尔透镜用框架支撑于工作面的上方，并且沿至少一条平行于透镜上与工作面的轴线相平行的折射棱镜的直线或区域被弯折，借此，透镜向工作面张开。非涅尔透镜可在风载，重力和其它环境因素作用下弯曲和拐折而不致引起系统效率显著恶化。



871A04574/31-77

# 权 利 要 求 书

---

1. 一种包括工作面在内的太阳能聚集器，其特征是：

透镜系统（24），包括一片薄而柔韧的透明的具有一平滑表面（30）和一反面（34）的聚合物膜，为折射与上述透镜系统（24）成锐角的投射到上述透镜系统上的入射太阳辐射，上述反面（34）具备多条凹凸的光线折射棱镜（32）；

支撑上述透镜系统（24）于工作面（26）的上方的支撑系统（22），上述透镜系统（24）装在上述支撑系统（22）上面并向上述工作面（26）张开，上述透镜系统（24）至少沿着一条与凹凸的光线折射棱镜（32）平行的线（28）被弯折以确定至少两块分段（60，62，64，66），上述光线折射棱镜（32）聚集上述入射太阳辐射到上述工作面（26）上，借此，聚集器的效率不会很大程度上受上述透镜系统的上述分段（60、62、64、66）的弯曲的影响。

2. 在权利要求1中所定义的太阳能聚集器，其进一步的特征是，上述薄膜至少沿一条平行于上述工作面（26）的轴线的线（28）被弯折。

3. 在权利要求1中所定义的太阳能聚集器，其进一步的特征是，上述工作面（26）包括至少一根管（56或58）来输送一种吸收性介质（57）。

4. 在权利要求1中所定义的太阳能聚集器，其进一步的特征是，聚集器还包括具有一平滑面（30'）和一个反面（34'）的第二透镜系统（24'）；上述的反面（34'）由多个凹凸的光线折射装置（32'）组成以聚集投射到上述薄膜上的入射太阳辐射至

上述工作面(26)上而上述的支撑系统(22)适用于将上述第二类透镜系统(24')附加支撑于上述工作面(26)的上方,利用它,投射到上述透镜系统(24)和上述第二透镜系统(24')上的上述的入射光线被点聚焦到上述工作面(26)上。

5. 在权利要求1中所定义的太阳能聚集器,其进一步的特征是,上述平滑表面(30)包含多条凹凸的光线折射棱镜(32)以将投射到上述薄膜上的入射太阳辐射聚集至工作面(26)上去,利用它,上述的入射光被点聚焦。

6. 一种薄而柔韧的,为将入射的太阳辐射聚集到一工作面上的菲涅尔透镜,包含一张薄膜,其特征是上述的膜是薄而柔韧,具有一平滑的表面(30)和一个具有与上述薄膜反面(34)结合在一起的光线折射系统(32),将与上述薄膜成锐角的投射到上述薄膜上的入射太阳辐射聚集到工作面(26)上,上述光线折射系统(32)包括构成折射面(70,80)及其毗邻的非作用的过渡面(72)的直线型排列的棱镜式沟槽和隆脊,上述折射表面(70,80)和非作用表面(72)相互合作将上述入射太阳辐射聚焦。

7. 在权利要求6中所定义的薄型菲涅尔透镜,其进一步的特征是,上述薄膜至少被分成两个相毗邻的分段,每一块分段(60,62,64,66)具有单独的光线折射系统(32)。

8. 在权利要求7中所定义的薄菲涅尔透镜,其进一步的特征是,上述薄膜的相毗邻的分段(60,62,64和66)是由中间区域(28和28')相联接在一起的,上述柔韧的膜可沿中间区域(28和28')朝向工作面(26)弯折且透镜的光学效率不会受上述薄膜的变化的很大影响。

9. 在权利要求6中所定义的薄菲涅尔透镜,其进一步的特征

是，上述薄膜是由一张易弯曲的柔韧的聚合物材料构成。

1 0。在权利要求 6 中所定义的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，上述透镜（2 4）是矩形的且绕一纵向的轴对称布置。

1 1。按权利要求 1 0 所要求的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，透镜（2 4）在横向被分成四个相毗邻的分段（6 0，6 2，6 4，6 6），边缘处的邻接分段（6 0 和 6 2）被配置成使投射到上述平滑表面（3 0）的太阳辐射的入射角在  $35^\circ$  和  $60^\circ$  之间，而在上述纵向轴任一侧的靠里的分段（6 4 和 6 6）被配置成具有在  $5^\circ$  至  $20^\circ$  之间的太阳辐射入射角。

1 2。在权利要求 1 1 中所定义的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，在靠近透镜边缘处的分段（6 0，6 2）中，棱镜（3 2）的光学作用面（8 0）的角的范围配置在  $37^\circ$  到  $68^\circ$  之间，而在相邻的靠里的分段（6 4 和 6 6）上的棱镜（3 2）的作用面（7 0）的角度是在  $0^\circ$  到  $42^\circ$  之间。

1 3。在权利要求 6 中所定义的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，入射太阳辐射首先投射到上述薄而柔韧的膜的平滑表面（3 0）上。

1 4。在权利要求 6 中所定义的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，上述薄膜包括一块对入射太阳辐射成一角度倾斜于上述工作面（2 6）的上方的分段（6 0，6 2，6 4 或 6 6）。

1 5。在权利要求 1 4 中所定义的薄菲涅尔透镜，其进一步的特征是，上述薄膜的光学效率不会很大程度上受上述薄膜变形的影响。

1 6。用于聚集入射太阳辐射至一具有一般的直线型轮廓的工作面上的系统的安装方法，包含配置透镜步骤，有以下特征：

沿着上述工作面（2 6）的水平轴安置一个具有矩形采光窗口的

框架(22)；

安置若干根互相平行的撑杆(48和50)，并以一根撑杆(48)置于纵向的中心线上，在上述中央撑杆的每一侧放一根撑杆(50)，布置成上述采光窗口；

在上述撑杆(48和50)上覆盖一薄而柔韧的透明薄膜以盖住采光窗口，上述薄膜具有一外露的平滑表面(30)和由定义光线折射表面(70和80)的一系列棱镜式隆脊和沟槽构成的反面(34)以将投射到上述平滑表面(30)的太阳辐射导向工作面(26)，因此系统的光学效率不会很大程度上受上述薄膜变形的影响；以及

在有张力的状态下放置上述薄膜以将在撑杆(48和50)间的下垂度减至最小程度。

17. 一种薄的，十分柔韧的透镜，其特征是：

一张薄膜，其一侧具有不连续的起光学作用的、类似棱镜的隆脊和沟槽的直线型阵列，当上述薄膜片被覆盖在框架(22)上，入射阳光不与薄膜片正交时，下垂的、起伏的薄膜片仍可以令人满意的光学效率将入射太阳辐射聚集到事先选定的工作面(26)上。

折射太阳能的聚光器和薄而柔韧的  
菲涅尔透镜

本发明涉及到一种改进了的重量轻的太阳能聚光器，而且其中一个方面涉及到一种改进了的薄而柔韧的菲涅尔透镜，这种透镜通过折射将投射在透镜外表面的太阳辐射聚集到工作面上。

利用太阳能的概念并不新鲜。人们推断最早的太阳能利用的参考文献之一出现在Bristophanes 的“云的喜剧”（上演于公元前434年）中。在该剧中，角色之一，Strep siades ，宣称他要用太阳和一块透镜来毁掉一张刻有债务记录的蜡片。为了让这种陈述为戏剧观众所常识，谅必已有了阳光可以被聚集以产生热的普通常识。此外，Lactantius ，在公元303年说过，一个充满水的玻璃球置于太阳下，即便在很冷的日子里也可以点火。还有，在威斯敏斯特修道院（West Minster Abbey）的1388年的薄记中记载了在复活节前夕以一种“燃烧着的玻璃”来点燃新火”的引燃方法，以及在1745年，法国科学家，Buffon ，做了用聚集阳光产生高温的实验。

当今，太阳能特别有吸引力，在这矿物燃料日益枯竭，公众对由此产生的大气污染颇为关注的时代，对核能的忧虑鼓励了替代能源的发展。太阳能，作为一种替代能源，是取之不尽且无污染的能源。已被开发的几种当代的太阳能利用有：在美国专利第4，204，881号中所说明的用光电池发电，如美国专利第4，270，981号中所说明的水的蒸馏，美国专利第4，297，000号中

所说明的用于建筑物的“冷”光，以及在下面参考专利中所说明的蓄热。然而，在正式设计一种聚集这个丰富能源的效率高、经济的而又实用的装置时已碰到几个问题。

为了聚集太阳能以作为其它能源的实用替代能源，若干年来已设计或建议了几种系统。一般说来，所建议的太阳聚集器已有三种：用镜子的，用透镜的和前面两者的联用。

例如，一种系统利用了凹形，大圆盘状的抛物面镜，如美国专利第4, 111, 184号中所说明的那样。此外，其它的系统还用了反射式槽，在美国专利第4, 385, 430号和4, 211, 211号中作了说明，或者利用了同心的截圆锥面组成的阵列，如美国专利第4, 347, 834中所说明的那种。还有，有一系统已用了平面反射镜，如美国专利第4, 344, 417号所说明的以及平面菲涅尔反射镜，在美国专利第3, 058, 394号中作了说明。

反射槽看来能为太阳能的高度聚集提供最佳的潜力。然而这个目标如果有过的话，很难达到，因为反射面的曲率要求的精确性使那里任一点处偏离原来规定的表面的任一角度变化都会导致被反射的太阳辐射的双倍偏差。此外，还不允许反射面的振动。反射面长期的保持精确度及稳定度的需要，就要求反射器用坚固的材料建造且要求细心的校正。于是，就要求建立一个笨重的厚实的支撑结构。此外，这种笨重的结构必须加底座以便在跟踪太阳的视运动期间保持不振动。再则，这种结构尚未被证实适用或可行于空间（宇航），在那里，减轻重量极端重要。

为了试图克服上述反射结构的某些局限性，折射式透镜已被使用。用于聚集太阳能的菲涅尔型透镜的例子在美国专利第4, 289, 118号；4, 194, 949号和4, 011, 857号中均已作

了说明。除上述者外，这类透镜还曾用于构成平面菲涅尔透镜，如美国专利第3, 985, 118和3, 203, 306中所说明的，凸形菲涅尔透镜，如美国专利第4, 116, 223中所说明的，半圆柱形或园管形的，如美国专利第4, 299, 201号和3, 125, 091号中所说明的，或是一种条形排列的折射式菲涅尔元件，如美国专利第4, 069, 812号中所说明的。

使用这类透镜，存在着几种局限性。在利用平面菲涅尔透镜的场合，由于透镜的边缘附近过量的象差导致采光窗口有限。曾试图用精确形状的透镜来克服这种局限性，但由于需要维持所要求的形状，它们不得不用坚硬的材料来建造，或要求一个复杂的支撑系统。无论如何，上述的透镜结构，正如反射镜结构一样，尚未被证实适合或可用于空间，在那里重量轻，易于使用而不要精确地校准，是极端的重要。

最后，为了克服上述的局限性，一种折射透镜和反射镜的组合已被用于聚集太阳能，它的实例在美国专利第4, 333, 759号，第4, 238, 246号和第4, 022, 186号中作了说明。此外，一种折射透镜和反射镜的组合已被利用，如在美国专利第4, 323, 052号和第4, 230, 094号中所说明的。然而，为了保持它们的外形或形状，这些结构都是很坚硬的。

本发明提供了一种改进了的重量轻的折射太阳能的聚光器和薄而柔韧的菲涅尔透镜，它能以最轻的重量和大幅度地降低制造成本来获得和维持高的运行效率。此外，由于构造中的简单结构，它可以很方便地应用于空间。再则，尽管这种构造简单，紧凑，折射表面的变形不会实质上去影响聚光器的效率，实施这种聚光器特别有利于在空间使用。

在此所描述的本发明是一种改进了的太阳能聚集器，特别是一种薄而柔韧的菲涅尔型透镜，它通过折射将入射的太阳辐射聚集到工作面上。此外，这种菲涅尔透镜被支撑或悬置在工作面的上方，且沿着平行于透镜的折射棱的一根线或一个区域被折褶，透镜一般平行于工作面的轴，借以使透镜向工作面张开。再则，若是由薄膜的折射，其偏差可减至最小，故聚集器的效率不会很大地受菲涅尔透镜的变形的影响。于是，菲涅尔透镜被放置在工作面的上方以便允许在两折褶之间的透镜部分或分段在风载、重力及其它环境因素作用下弯曲和拐折，即使在菲涅尔透镜表面从平面位置以 $5^{\circ}$ 或更大些的角度弓出或弓进，对系统效率不发生显著的恶化。弯弓度可以从薄膜透镜应放置的平面与在支撑点处弯弓的曲线的切线间的角度很方便地测定。

菲涅尔透镜所用的材料基本上是一种光滑而柔韧的透明的聚合物材料，它具有一个光滑的表面，和一个由许多条一条挨一条的排列的微型的直线菲涅尔棱镜或凹凸元件组成的背面，光滑表面有效地构成了每一棱镜的其中一个光学表面。此外，每一棱镜包括一个要改变光线方向的光学表面。每一个棱镜还有一个不起作用的光学面或节距，它不拦阻或干扰改变了方向的太阳辐射。于是，薄膜内的棱镜是这样的排列以使由棱镜确定的节距不干扰入射的太阳辐射的折射。进而，在优选的实施例中，菲涅尔透镜是面对一定方向的，以便使较为脆弱的菲涅尔棱镜将不直接暴露于冰雹、雨水和其它具有破坏性的环境因素之中。

将菲涅尔透镜悬置于工作面上方的支撑结构由确定太阳聚集器采光窗口的撑杆或金属丝组成，而菲涅尔透镜以微弱的张力被悬置于撑杆或金属丝上。中央支撑沿着菲涅尔透镜的中心伸展，并最好由一弹簧构成的击震吸收器可移动地支撑。用一很小的力作用于薄膜，将它

置于小而定常的张力之下，并阻滞剧烈反复的振动。在这种构造中，菲涅尔透镜能在空气压力下偏转，以保持可接受的性能。

太阳辐射被聚集在其上面的工作面可以是黑色，不透明的，半透明的或透明的，还可以是传输吸收性介质的管子或光电池等，从那里可取得能量。

通过连同图一起阅读下列的详细说明，图中以同样的参考数字来识别相应的零件，本发明的各种特征，目的，好处和优点将变得更加明显。

图 1 是根据本发明所构成的太阳能聚集器的透视图；

图 2 是图 1 中的太阳能聚集器的侧视图；

图 3 是取自图 1 的 3—3 箭头方向的太阳能聚集器的垂直剖视图；

图 4 是太阳能聚集器的工作区或吸收器的局剖垂直剖视图；

图 5 是太阳能聚集器的薄而柔韧的菲涅尔透镜的视图；

图 5 A 和 5 B 是取自图 5 中不同位置处的透镜的放大的局部剖面图；

图 6 是一张简图，它表明通过太阳能聚集器的光线间的关系，以说明本发明的聚集器元件的折射；

图 7 A 是一曲线图，它示出在  $+2^\circ$  弓屈度（以实线表示）和  $+1^\circ$  弓屈度（以虚线表示）的情况下太阳象的宽度作为棱镜位置（包括从  $400\text{ nm}$  至  $1000\text{ nm}$  的色差）的函数；

图 7 B 是一曲线图，它示出了在  $-2^\circ$  弓屈度（以实线表示）和  $0^\circ$  弓屈度（以虚线表示）的情况下，太阳象的宽度作为棱镜位置（包括自  $400\text{ nm}$  至  $1000\text{ nm}$  的色差）的函数；和

图 8 是本发明用于点聚集入射太阳辐射的，十字交叉的，直线型

## 阶梯式的折射透镜的透视表示图。

参看图例中的图 1, 2 和 3, 本发明的太阳能聚集器一般以 20 标出, 它包括轻型支撑结构或框架 22 和一个为将入射太阳辐射聚集到工作面或称吸收器 26 上的直线型阶梯式菲涅尔型透镜 24。可以设想, 透镜 24, 在本发明中是一种薄而柔韧的透明膜, 沿着至少一条平行于透镜上的折射棱镜的线或区域 28 弯折成与入射太阳辐射 (非法向的) 成锐角, 透镜一般平行于工作面 26 的轴, 而薄膜被悬置, 披盖到或镶嵌在支撑结构 22 上, 向工作面 26 张开。聚集器 20 的效率不大受透镜 24 变形的影响。仅仅为了说明的目的, 描绘了太阳能聚集器 20, 在那里透镜 24 沿着三条线 28 被弯折。必须意识到, 任何一个给定的聚集器的宽和高 (和相应的焦距) 是根据给定的环境和折褶的数目来选定的, 所以它是可变的。

透镜 24 由一薄而柔韧的透明的聚合物片构成, 例如, 聚甲基丙烯酸甲酯, 在一侧具有一平滑表面 30, 并有许多在长度方向伸展的一条挨一条排列着的微型线性菲涅尔棱镜 32, 构成了它的反面或第二表面 34, 如图 5 A 和 5 B 所示。薄透镜膜 24 很柔韧并易弯曲, 约为 0.015 英寸厚。在优选的实施例中, 薄而柔韧的透镜 24 是被适当地放置, 以使光滑面 30 朝向太阳, 而其反面 34 朝向工作面 26 以防止棱镜 32 直接暴露于冰雹、雨水和其它毁坏性的环境因素中。此外, 因为薄膜易于安装, 当它被大气和自然界的有害因素弄脏和/或损坏时, 它可以很方便地被置换。薄膜上的棱镜是这样布置的, 使由于棱镜的非作用面引起的节距干扰损失不在由棱镜的光学作用面将光弯向焦点的折射光路上。

透镜 24 是这样地被支撑的, 它允许在横向, 轴向或长度方向弯曲或屈曲以移向或离开工作面 26。弯屈度可由薄的菲涅尔透镜应放

置的平面与在支撑点上挠屈曲线切线间的夹角很方便地被测定，并且表面可以上弯和下弯 $1^{\circ}$ ， $2^{\circ}$ ， $5^{\circ}$ 或更多些而不会很大影响透镜成象的质量。如这里所用的，负弯屈度 $-1^{\circ}$ 或 $-2^{\circ}$ 的意思是透镜弯离工作面，正弯屈度 $+1^{\circ}$ 或 $+2^{\circ}$ 的意思是弯向工作面。还设想，位于横支撑条之间的一段或多段（透镜）可以单独地或组合地用来作为太阳能聚集器。

图3所说明的实施例的设计利用了薄而柔韧的菲涅尔膜片24。该膜片围绕着太阳聚集器的采光窗口的中心线28弯折并沿着透镜两侧的另一折痕28'从透镜的边缘向里折。这些折痕，一条位于中心线28上，同另外两条在28'上的折痕起到将弯屈的有害效果和薄而柔韧的菲涅尔透镜膜的起皱减到最小程度的作用。此外，由于某些被邻接的棱镜所拦阻的折射光引起的节距损失也被降到最小，还有，由于色差引起的散焦也被减到最小。所有以上问题则可能使同样大的采光窗口的平面菲涅尔透镜变得不能为人们所接受。在中心线的每一侧弯折透镜也将形成一个更为紧凑的透镜设计。在聚焦入射太阳辐射到工作面或吸收器26上时，在太阳能聚集器的外周边处的光线变得最厉害。这些光线受象差的影响最甚。因此，直线型菲涅尔棱镜的不连续阵列的设计参数是以处于所设计的聚集器的周边处或靠近周边处的一个菲涅尔棱镜为依据，以使太阳辐射的入射角等于同一光线折射后的出射角。这种设计方法的结果导致了对那条特殊的菲涅尔棱镜的那束光线的最小的偏离，从而使透镜24的性能对挠屈旋转或变形不敏感。因此，折痕要定位于从透镜出来的光线基本上垂直于在面板上的菲涅尔棱镜的光学面的地点。从折痕伸展到中心线的透镜的部分最可取的放置角度应这样定，即方向的转变不会将太阳象扩大到超过一块或多块周边部分以至大大地影响聚集器的效率的地步。通常最好对

透镜的光滑面保持入射角不超过 $6.0^\circ$ ，因为在这么大的入射角下，由于在表面上的菲涅尔反射引起的损失会超过10%。

在该所说明的实施例中，支撑结构或框架22包括四个六角形的侧端构件40，42，44和46。在一对侧端构件间所伸展的是中央撑杆48，中间折弯处撑杆50和边缘撑杆52。这些撑杆沿框架22的长度方向上伸展，而端板40，42，44和46支在吸收器26上，该吸收器的长度一直延伸到与太阳聚集器20等长。

工作面或吸收器26，决定于特定的应用，可以包括一根内有吸热的流体工质的管子，光电池等。在图3和4中所说明的实施例中，描绘了吸收器26，它具有—根外管56和—根内送进(介质)管58。外管56可以是半透明的，将吸收器内的传热流体暴露在阳光下。传热流体通过内管58流到吸收器56的末端，通过被聚集的太阳辐射的照射加热后进入伸展的两太阳聚集器20之间的主管道54。利用光电池的太阳能发电系统在美国专利第4,204,881号中说明。

图5，5A和5B示出了具有所要求的特性的太阳聚集器20的一个单体的特殊设计，在那里以60和62标出的第一片透镜的分段，是这样布置的，即对这个有角度而陡斜的侧面的入射角 $I_1'$ 是 $45^\circ$ ，并从边缘线52至支撑50间的长度为0.29个单位。标出“单位”的选择是任意的，仅仅为了说明问题的目的，可用任一种计量单位，例如，米，英尺，英寸等。在该透镜中，自太阳聚集器20的焦点到撑杆48和边缘撑杆52间形成的夹角 $\phi$ 是 $33.46^\circ$ ，而自撑杆48到第二根支撑杆50间的夹角 $\alpha$ 是 $17.11^\circ$ 。光线至太阳聚集器的分段64和66的入射角是 $13.75^\circ$ ，标明在图5B中的角 $I_1''$ 等于 $13.75^\circ$ 。从焦点

到太阳收集器的中心线的距离  $T H$  为 1.03 个单位。如图 5 B 所示, 太阳收集器在区域 6 6, 相对应的区域 6 4, 具有平滑的外表面 3 0, 而菲涅尔棱镜 3 2 构成了它的反面 3 4。菲涅尔棱镜 3 2 具有光学作用面或表面 7 0 和非作用的竖立面或表面 7 2。光学面 7 0 和平滑表面 3 0 间的夹角是角  $A''$ , 平滑表面和非作用面间的夹角是  $R A''$ 。对该剖面, 折射后的光线离开光学面 7 0 的角度以角  $I_2''$  表示, 并给出偏离角  $D''$ 。如图 5 A 所示, 在区域 6 2, 它与区域 6 0 对称, 入射角以  $I_1'$  表示, 出射角以  $I_2'$  表示并带有偏离角  $D'$ 。光学作用面 8 0 的角度可以角  $A'$  表示, 对其邻接的非作用面 8 2 可用角  $R A'$  表示。

所列出的公式仅仅是为了举例的目的, 对本发明并不是重要的。若干替代的公式是那些专业人员熟悉的, 或者他们能根据 Snell 折射定律和三角关系式很容易地推导这些公式或与之相类似的公式, 例如, 如在美国专利第 4, 069, 812 号中所公开的那些。于是, 用于确定上述透镜设计的参数如下:

1) 若一束光线(来自太阳)以入射角  $I$  投射至折褶的菲涅尔透镜的第一表面, 那么最小偏差条件决定了透镜的第二表面必须对第一表面形成的夹角  $A$ , 该最小偏离角为  $D_m$ :

$$D_m = 2 ( I - \text{Sin}^{-1} ( \text{Sin}(I/n) ) )$$

式中  $n$  是材料的折射指数。

2) 为给出指定偏离角  $D$ , 包括最小偏离角而需要的透镜的作用面角  $A$  为:

$$A = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sin(D-I) + \sin I}{(n^2 - \sin^2 I)^{1/2} - \cos(D-I)} \right\}$$

3) 在透镜的光学作用面之间的坚面，倘若它被置于来自太阳一侧的在第一表面处经历了一次折射的最尽头的光线和来自太阳的另一侧并在透镜两个表面上经历折射的最尽头的光线之间，则它不会拦截任何光线。那就是在内部光线和外部光线之间。当内部光线和外部光线形成了对第一表面的夹角为

$$RA = \cos^{-1} (\sin(I-S) / n)$$

时，这些光线成为互相平行的，于是定义了一个在透镜上的临界点。上式中的S是太阳在透镜上的张角的一半（差不多是1/4度）。

4) 当薄的菲涅尔透镜发生变形时，表面就产生位移和扭转，如图6所示，图中实线66和入射点 $p_t$ ，代表未受干扰的情形，而虚线66'和入射点 $p_t'$ ，代表弯屈后的情形。对于在这里所讨论的这类实用的透镜，扭转产生的影响最大，并在设计中要加以考虑，虽然在分析时两种影响都要注意到。若r是透镜的一部分的扭转角（小于或等于弯屈度B），透镜的第二表面对第一表面的夹角是A，在无扭转时入射角是I，导致光线的偏离角D为：

$$D = -A + I + r + \sin^{-1} (n \sin(A - \sin^{-1} (\sin(I+r) / n)))$$

利用这些公式，所设计的透镜是这样的，菲涅尔棱镜 3 2 的作用透镜面 7 0 和 8 0 将光线充分地引导至工作面上，如图 7 A 和 7 B 所示，以致即便有风引起透镜表面弯屈的情况下也可使太阳能的损失降到最小，这样透镜仍然可以用薄膜制成，并对整个太阳能聚集器要求较小的重量。对本发明的透镜的一些代表性的节距在下列表中给出，在  $S_1$  和  $S_2$  行下的数字等于太阳聚集器中心线至棱镜的距离，在那里的一个单元是整个太阳聚集器的采光窗口。 $S_1$  代表采光窗口  $T_1$ ， $S_2$  代表采光窗口  $T_2$ 。 $T_1$  是分段 6 0 和 6 2 的采光窗口而  $T_2$  是分段 6 4 和 6 6 的采光窗口。透镜采光窗口  $T_2$  对  $T_1$  的比值为 1.45，材料的折射指数为 1.493， $I_1' = 45^\circ$ ， $I_1'' = 13.75721^\circ$ 。 $RA'$  代表了在该透镜设计中最小的竖面夹角，为  $61.86545^\circ$ ， $RA''$  为  $80.99957^\circ$ 。然而，对于在临界的竖面角外侧的菲涅尔棱镜，增加竖面角应是可取的。

表  $T_1$

$S_1$	$A'$	$I_{2,1}'$	$D'$
• 5000	56.5384	$45^\circ$	33.4616
• 4720	53.5360	$39.5880^\circ$	31.0520
• 4445	50.2010	$33.8927^\circ$	28.6917
• 4165	46.5696	$27.9565^\circ$	26.3869
• 3890	42.6990	$21.8419^\circ$	24.1429
• 3610	38.6647	$15.6286^\circ$	21.9639

• 3335	34.5549	9.4080°	19.8531
• 3055	30.4620	3.2748°	17.8128
• 2960	29.0493	1.1648°	17.1155

表 T<sub>2</sub>

• 2960	31.9275	35.2858	17.1155
• 2780	30.3464	32.6461	16.0569
• 2500	27.7576	28.4256	14.4252
• 2220	24.9984	24.0037	12.7925
• 1945	22.0640	19.4681	11.1613
• 1665	19.0049	14.7820	9.5343
• 1390	15.8467	10.0036	7.9141
• 1110	12.6284	5.1744	6.3032
• 0835	9.3927	• 3396	4.7041
• 0555	6.1826	-4.4555	3.1191
• 0000	0.0000	-13.7572	0.0000

图 7 A 示出了在工作面或吸收器（它的宽度为  $S_1$  和  $S_2$  的函数是 0.028）上的太阳象的位置。所示的是太阳聚集器整个采光窗口的一半。这一半等于单元体的二分之一。半个采光窗口分为  $T_1$  和  $T_2$  两部分。实线表示包括由弯屈度为  $+2^\circ$  引起的象差的太阳象的散大，而虚线表示包括由弯屈度为  $+1^\circ$  引起的象差的太阳象的散大。图 7 B 示出了包括在弯屈度为  $-2^\circ$  下引起的象差的太阳象的散大（实线），而虚线表示了当薄而柔韧的菲涅尔透镜 24 置于它平直的正常位置没有弯屈时包括象差造成的象的扩大。这种象的变形是可以接受的。

为了使本发明的太阳能聚集器在整个白天时刻内以高效率地运行，它必须跟踪越过天空的太阳，因此要保持透镜 24 永远指向太阳的方向。于是，一种例如在美国专利第 4,352,350 号；4,347,834 号；和 4,089,323 号中所公开的跟踪装置（在本文中未示出）的类型可装在聚集器 20 上。这样，所利用的选择好的跟踪装置要与取决于应用要求的三种跟踪方案相一致，如美国专利第 4,069,812 号和 4,011,857 号专利中所说明的那样。

本发明的太阳能聚集器也可设计成将辐射能量聚集到具有很小面积的而且基本上是斑或点式的工作面或吸收器上。一个面上备有线状排列的不连续的菲涅尔棱镜 32 的薄片或透镜 24 可被放置到紧挨另一块在一侧排列有特殊的不连续的与第一个薄片 24 相垂直的菲涅尔棱镜 32 阵列的薄片或透镜 24，如图 8 所示。或者是在第一块薄片的两侧做成这样的结构。另一种构造由一块有一定结构的薄片做成的平截头体，它的顶部盖以另一由薄片做成的具有与上述平截头体不同角度锥体组成。这种由有结构的薄片的组合体可将太阳辐射聚

集到一极小的面积，基本上是一个点上。线状排列的菲涅尔透镜的薄片还可分割成饼状三角形体，配合在一起形成一个金字塔，这种构造也可将入射的太阳辐射聚集到一个点上。

已经这样说明了本发明，透镜的特殊设计和通过透镜的光路由透镜节距角度来确定的做法是可取的，所有这些都是没有偏离本发明的设想。当太阳光线对菲涅尔透镜的入射角基本上等于在或接近透镜边缘处的对菲涅尔作用面光线的出射角时，可以获得更为紧凑和高效的透镜设计。不总是要求这样做的，而且在某些场合还不希望这样做，不过，要注意到这是一种可以获得更为紧凑且更为有效的聚光的场合。

在另一实施例中，狭长的工作面是一根吸收管，该管是这样构造的，被太阳辐射加热的液体通过由一根管套在另一根管内组成的吸收器的中心而离去。因为这种单元体重量轻，它可用于大多数场合，特别是不适合用笨重而厚实的单元体的地方。因为，在一个实施例中，它可卷成一个小捆，故它特别适用于（宇航）空间。在飞船已送入空间并进入轨道之后，本发明的太阳聚集器能自动张开。对效率高的运行不需要精确的调准。

虽然说明了本发明的一个优选的实施例，以便让熟练的专业人员能去实践本发明的技术，但上述的说明只是作为样板的，而不应用它来限制本发明的范畴。本发明的范畴仅由下列专利权要求书所涉及到的内容所确定。

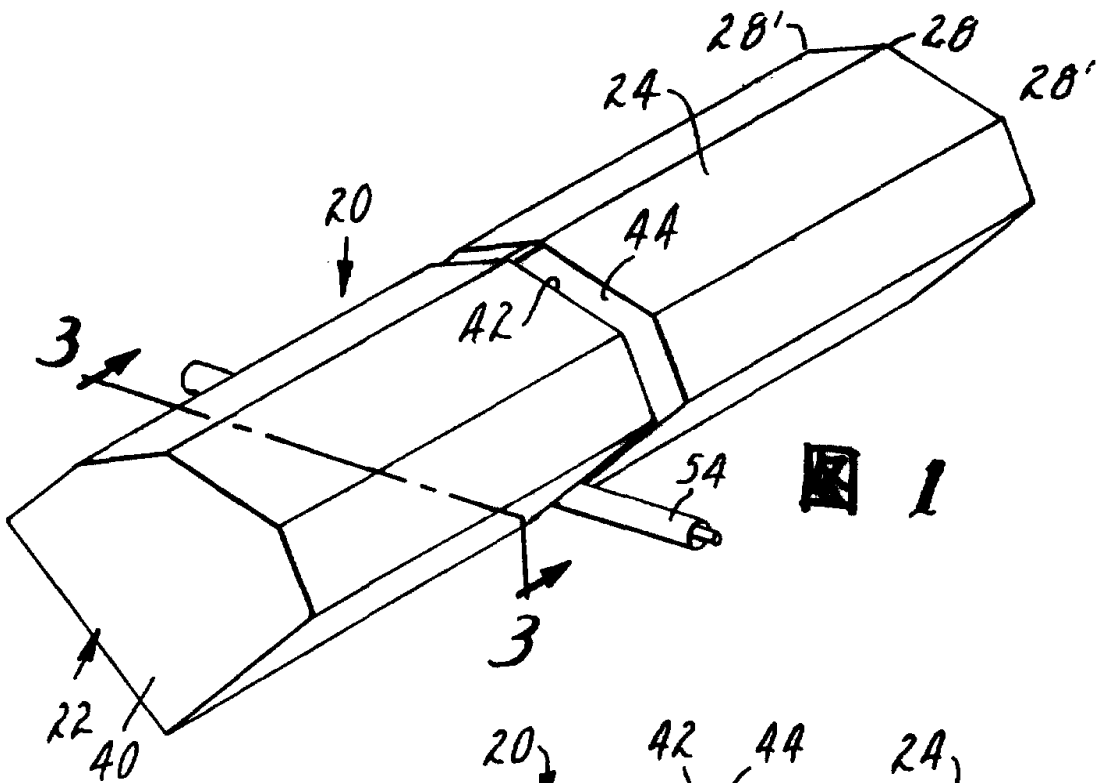


图 1

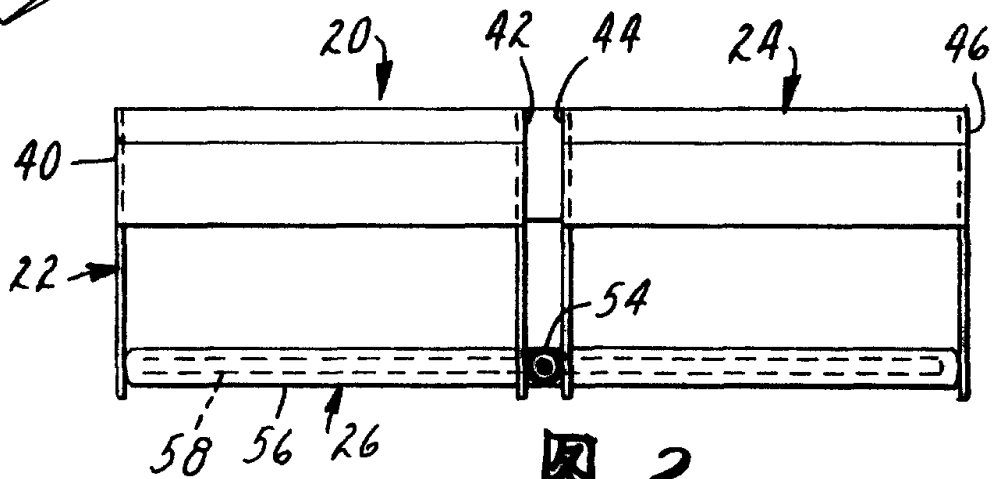


图 2

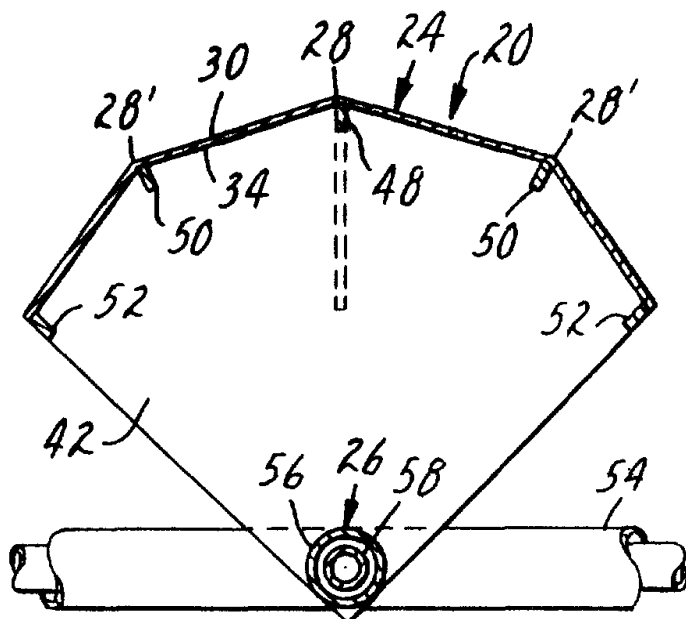


图 3

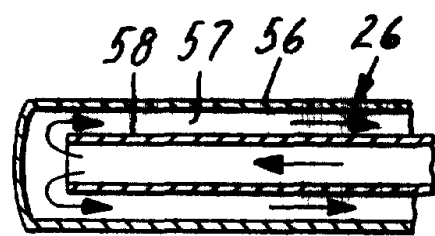


图 4

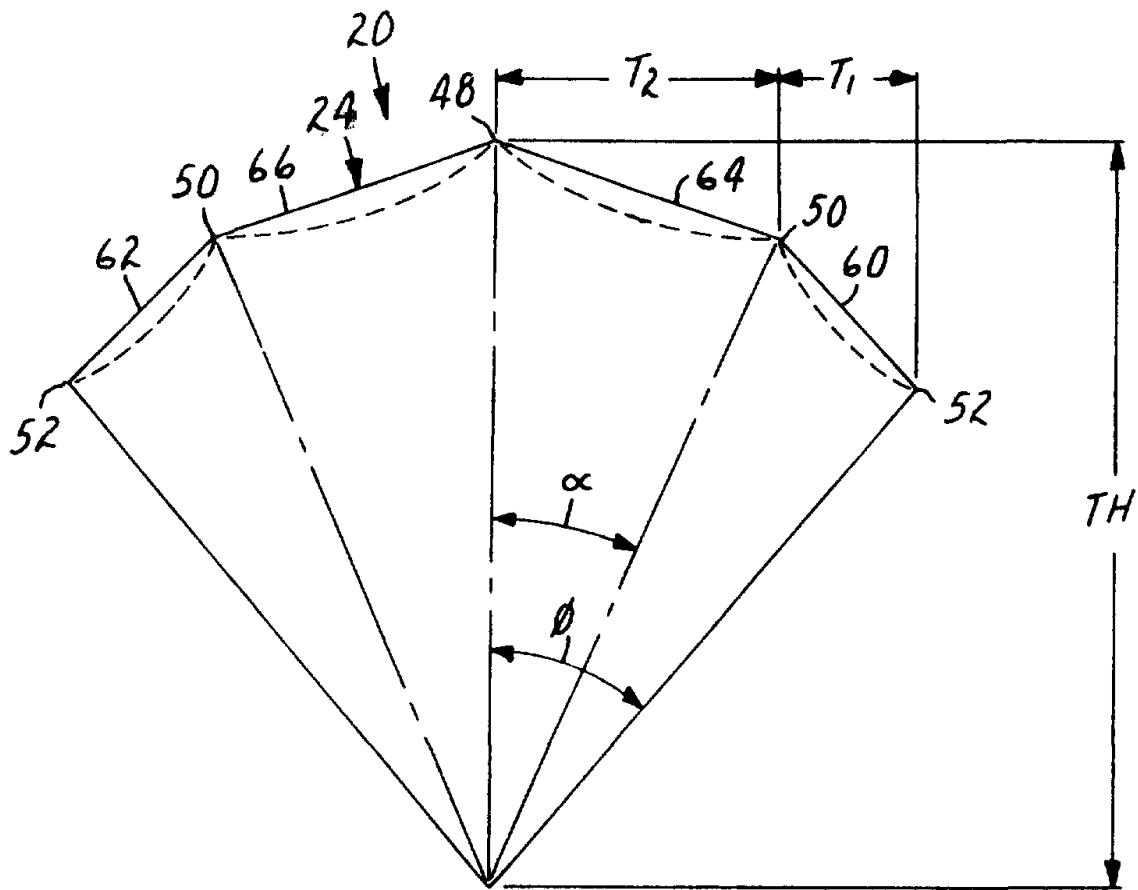


图 5

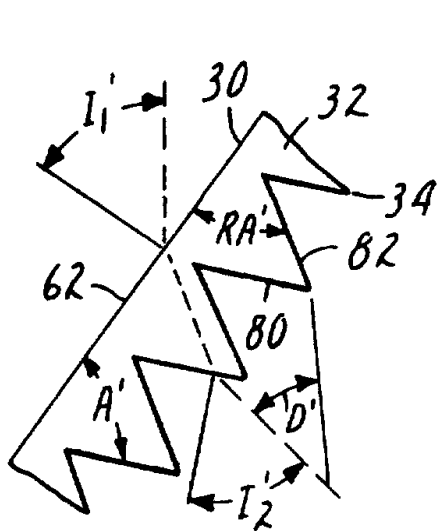


图 5A

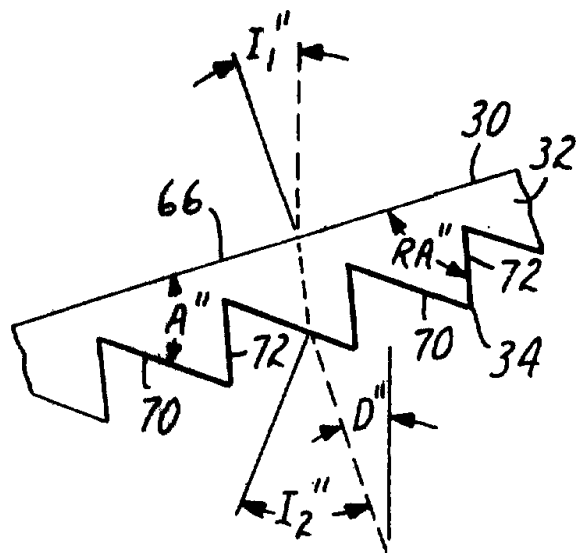


图 5B



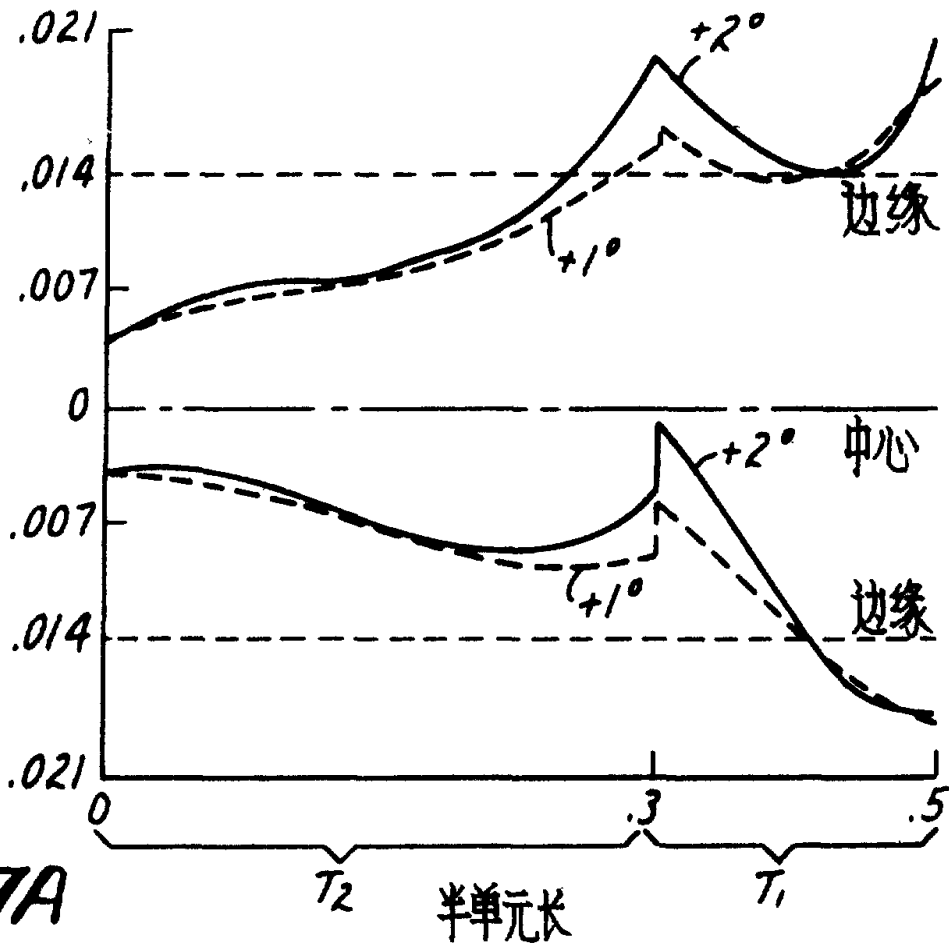


图 7A

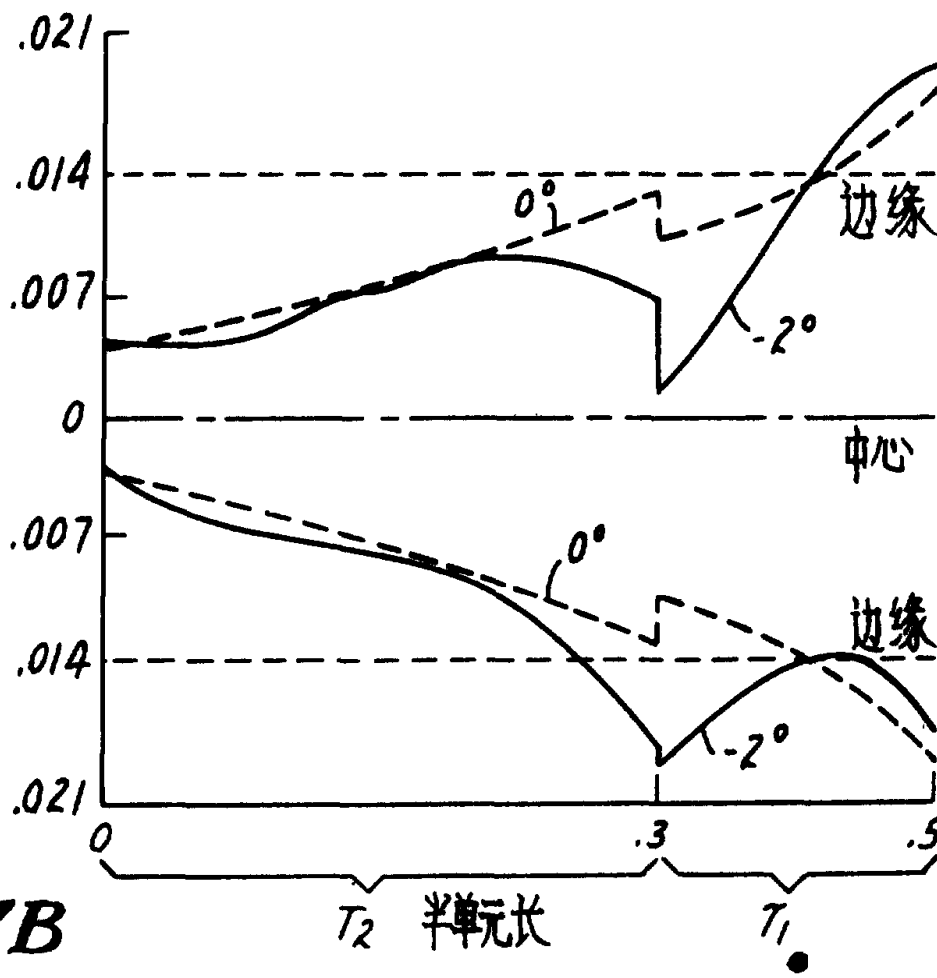


图 7B